

XVI ERIAC
DECIMOSEXTO ENCUENTRO
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ
17 al 21 de mayo de 2015



C1-10

Comité de Estudio C1 - Desarrollo de Sistemas y Economía

INDICADORES DE MANUTENÇÃO PARA A GESTÃO DE ATIVOS

Valéria Simões de Marco*
Eletrobrás Eletronuclear S.A.
Brasil

Carlos Henrique de Oliveira
Eletrobrás Eletronuclear S.A.
Brasil

Resumo - *A gestão de ativos requer indicadores capazes de avaliar o* ***desempenho*** *dos sistemas e/ou componentes que influenciam diretamente nos resultados produtivos e econômicos da planta bem como avaliar o* ***impacto sobre a segurança (riscos)*** *quando estes não são capazes de desempenhar as funções previstas no projeto, devido às ocorrências de falhas ou quando estes estiverem indisponíveis para que sejam executadas as atividades de manutenção ou de operação.*
As definições de metas também são importantes para sistematizar as atividades e práticas direcionadas para o gerenciamento dos ativos e sistemas ativos quando os indicadores apontam para tendências de desvios em relação às metas. É necessário que as metas de desempenhos e de riscos sejam alinhadas com o planejamento estratégico organizacional porque os custos da manutenção estão diretamente associados a esses parâmetros.

Palavras chave: Ativos, Confiabilidade, Disponibilidade, Gestão, Mantenabilidade e Risco.

1 INTRODUÇÃO

Os indicadores de manutenção para a gestão de ativos tem por objetivo monitorar os **desempenhos** dos sistemas, equipamentos ou componentes ao cumprirem as suas funções previamente definidas pelo projeto e são obtidos à partir das análises de dados de falhas e indisponibilidades extraídos dos históricos de manutenção, das ocorrências operacionais e dos resultados dos testes periódicos e inspeções.
Os indicadores também possibilitam avaliar as **consequências das falhas (riscos)** dos equipamentos ou componentes que podem contribuir para o aumento da probabilidade de ocorrência de eventos iniciadores que resultam na fusão do núcleo do reator, ou atuação de sistemas de segurança, ou desligamento não planejado da planta, ou perda de capacidade, ou reduções de carga.

2 MÉTRICAS DE DESEMPENHO E RISCO

A Usina de Angra 2 aplica o processo de confiabilidade de equipamentos definido no documento INPO AP 913[1] para implementação da sua gestão de manutenção de ativos e para cumprir os requisitos das Normas ABNT NBR ISO 55000, NBR ISO 55001, NBR ISO 55002 [2] e do documento PAS 55[3].
As métricas de desempenho e os indicadores associados foram definidos com a finalidade de alcançar os seguintes objetivos:

(*) Rodovia Gov. Mario Covas Km 517 – Itaorna – Ed UYA 3º. Andar – Cep 23948-000 – Angra dos Reis, Rj – Brasil . Tel.: +55 24 3362-8615 – e-mail: demarco@eletronuclear.gov.br

a) Monitorar a eficácia do programa de manutenção em mitigar as falhas dos sistemas e/ou componentes que desempenham as funções críticas de segurança ou funções relacionadas com a disponibilidade da planta;
b) Estabelecer as diretrizes necessárias à organização e a administração para a priorização das atividades de manutenção de forma eficaz, de maneira a garantir a confiabilidade e a disponibilidade da planta, bem como a sua operação segura;
c) Assegurar que os sistemas, equipamentos e componentes sejam capazes de cumprir suas funções previstas por projeto e estabelecer as ações corretivas necessárias quando o desempenho destes não for adequado, monitorando a efetividade das ações mediante o cumprimento das metas pré-fixadas ("Critérios de Desempenho");
d) Estabelecer as diretrizes para o gerenciamento do ciclo de vida da planta.

Na Usina de Angra 2 as ocorrências de "Falhas Funcionais" e as "Indisponibilidades" dos sistemas, equipamentos e/ou componentes são consideradas métricas de desempenho e são contabilizadas por Trechos Funcionais, conforme exemplificado nos itens 3.2 e 3.3.

As metas, denominadas "Critérios de Desempenho", são estabelecidas de acordo com a Significação para o Risco (criticidade) dos Trechos Funcionais, conforme mostrado na Tabela I:

TABELA I – CRITÉRIOS DE DESEMPENHO		
Critério de Performance	**Trecho Funcional**	
	Significativo p/ o Risco	**Não Significativo p/ o Risco**
No. de Falhas Funcionais	< 2 / ciclo	< 3 / ciclo
Tempo de Indisponibilidade	≤ 5% / ciclo	-

Significativo para o Risco: Sistema, Equipamento ou Componente cuja falha funcional aumenta o perfil de risco de fusão do núcleo do reator ou provoca desligamento não planejado da Usina ou reduções de carga.

Os dados de falhas também são utilizados para estabelecer os modelos das distribuições estatísticas que definem os parâmetros de engenharia de confiabilidade, utilizados para a verificação da adequação do programa de manutenção na mitigação das falhas (**β**, **η**,γ**,** taxa de falha **λ**, MTTF, R), conforme mostrado no item 3.4.

As metodologias mostradas na Tabela II a seguir são utilizadas para as avaliações dos modos de falhas e suas consequências (riscos):

TABELA II – METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÕES DOS RISCOS DOS MODOS DE FALHAS E INDISPONIBILIDADES DOS TRECHOS FUNCIONAIS		
Evento	**Metodologia**	**Avaliações de Risco**
Modos de Falha	FMEA/RCM e Manutenção Baseada na Condição Avaliação da falha: - Severidade - Possibilidade de Ocorrência - Possibilidade de Detecção	Matriz de Risco: ver item 3.2.3 Severidade X Ocorrência X Detecção
Indisponibilidade	Análise Probabilística de Segurança (APS)	Monitor de Risco

FMEA: Failure Mode and Effect Analysis – Análise de modos de falhas e seus efeitos.
RCM: Reliability Centered Maintenance – Manutenção Centrada em Confiabilidade.

3 INDICADORES DE MANUTENÇÃO PARA A GESTÃO DE ATIVOS

3.1 Trechos Funcionais

Para estabelecer os indicadores de manutenção é necessário conhecer os fluxogramas dos Sistemas e agrupar os

equipamentos e componentes de maneira que a falha funcional de um componente seja a falha funcional do agrupamento (Trecho Funcional).
Os indicadores são estabelecidos para cada um dos Trechos Funcionais dentro do período de 1 ciclo de operação da Usina (1 ciclo = 14 meses).
3.2 Monitoramento dos Trechos Funcionais

Os indicadores de desempenho e indisponibilidade dos Trechos Funcionais são sinalizados de acordo com o seguinte código de cores:

a) Verde ....Desempenho desejável, Trecho Funcional no requisito (a)(2);
b) Amarelo....Desempenho aceitável, Trecho Funcional no requisito (a)(2), atingindo 50% do Critério de Performance (CP),
c) Laranja.....Desempenho ainda aceitável, Trecho Funcional no requisito (a)(2), tendendo para o requisito (a)(1), atingindo 75% do Critério de Performance,
d) Vermelho..Desempenho inaceitável, Trecho Funcional no requisito (a)(1), requer uma atenção redobrada. Necessária implementação de ação corretiva imediata e fixação de metas para restaurar o Trecho ao requisito (a)(2).

Requisito (a1) - Status de monitoração em que o sistema ou componente extrapola aos critérios estabelecidos e cuja performance não assegura que seja capaz de cumprir as funções compatíveis com o projeto.

Requisito (a2) - Status de monitoração em que o sistema ou componente atende aos critérios estabelecidos e cuja performance assegura que seja capaz de cumprir as funções compatíveis com o projeto.

3.3 Avaliações dos Trechos Funcionais - Falhas Funcionais x Indisponibilidades

A Tabela III mostra o monitoramento de falhas funcionais e indisponibilidades dos Trechos Funcionais do Sistema de Refrigeração do Poço de Elementos Combustíveis – FAK usando a codificação de cores para classificar os Trechos nos requisitos (a)(1) ou (a)(2):

TABELA III – AVALIAÇÃO DOS TRECHOS FUNCIONAIS DO SISTEMA FAK

FAK - Sistema de Refrigeração do Poço de Elementos Combustíveis						
Critérios de Performance - SR Confiabilidade < 2 Falhas Funcionais / ciclo Indisponibilidade < 5% / ciclo com a Usina em operação normal						
TRECHO	**Avaliação**	**Ciclo 3**	**Ciclo 4**	**Ciclo 5**	**Ciclo 6**	**Ciclo 7**
FAK-2-T001	Falha Funcional	0	0	0	0	0
	Indisponibilidade	13,7990%	0,1426%	0,3292%	0,7049%	0,5505%
	Classificação	(a1)	(a2)	(a2)	(a2)	(a2)
FAK-2-T002	Falha Funcional	1	0	0	0	0
	Indisponibilidade	10,1017%	0,0000%	3,6236%	0,0424%	0,1625%
	Classificação	(a1)	(a2)	(a2)	(a2)	(a2)
FAK-2-T003	Falha Funcional	0	0	0	0	0
	Indisponibilidade	0,0702%	0,3521%	0,0917%	2,4950%	0,0000%
	Classificação	(a2)	(a2)	(a2)	(a2)	(a2)

Avaliações:
- FAK-2-T001: O tempo de indisponibilidade admissível no ciclo 3 foi extrapolado devido falha inserida por manutenção na bomba FAK10AP001. Esta bomba não apresentava nenhuma tendência de falha e ao ser revisada, para cumprir o programa de manutenção anteriormente estabelecido, foi observado um ruído anormal no mancal durante o teste pós-manutenção, a bomba teve de ser novamente desmontada para a substituição dos rolamentos (falha inserida por manutenção desnecessária).
Ação mitigadora: a revisão geral foi excluída do programa de manutenção porque foi verificado que a bomba se encontrava no período de mortalidade infantil. A bomba foi colocada na rota de monitorações preditivas e só terá intervenções intrusivas quando houver alguma tendência de falha observada nas monitorações preditivas.
- FAK-2-T002: O tempo de indisponibilidade admissível no ciclo 3 da bomba FAK20AP001 foi extrapolado devido à ocorrência de elevação de temperatura do mancal, ocasionada pela ventilação deficiente da bomba.
Ação mitigadora: O projeto foi modificado para a montagem da ventilação forçada na bomba e a elevação de temperatura do mancal não mais se repetiu.

3.4 ANÁLISES DE DADOS DE VIDA

A seguir são exemplificadas as análises de dados de vida do Sistema de Amostragem de Material Nuclear - KUA que é composto por 7 Trechos Funcionais, conforme mostrado na Figura 1, mas apenas o Trecho KUA-2-T001, cuja função é monitorar a concentração de boro no circuito primário, obteve desempenho abaixo do requerido nos ciclos 3, 4, 5, 6 e 8 (ver Tabela IV).

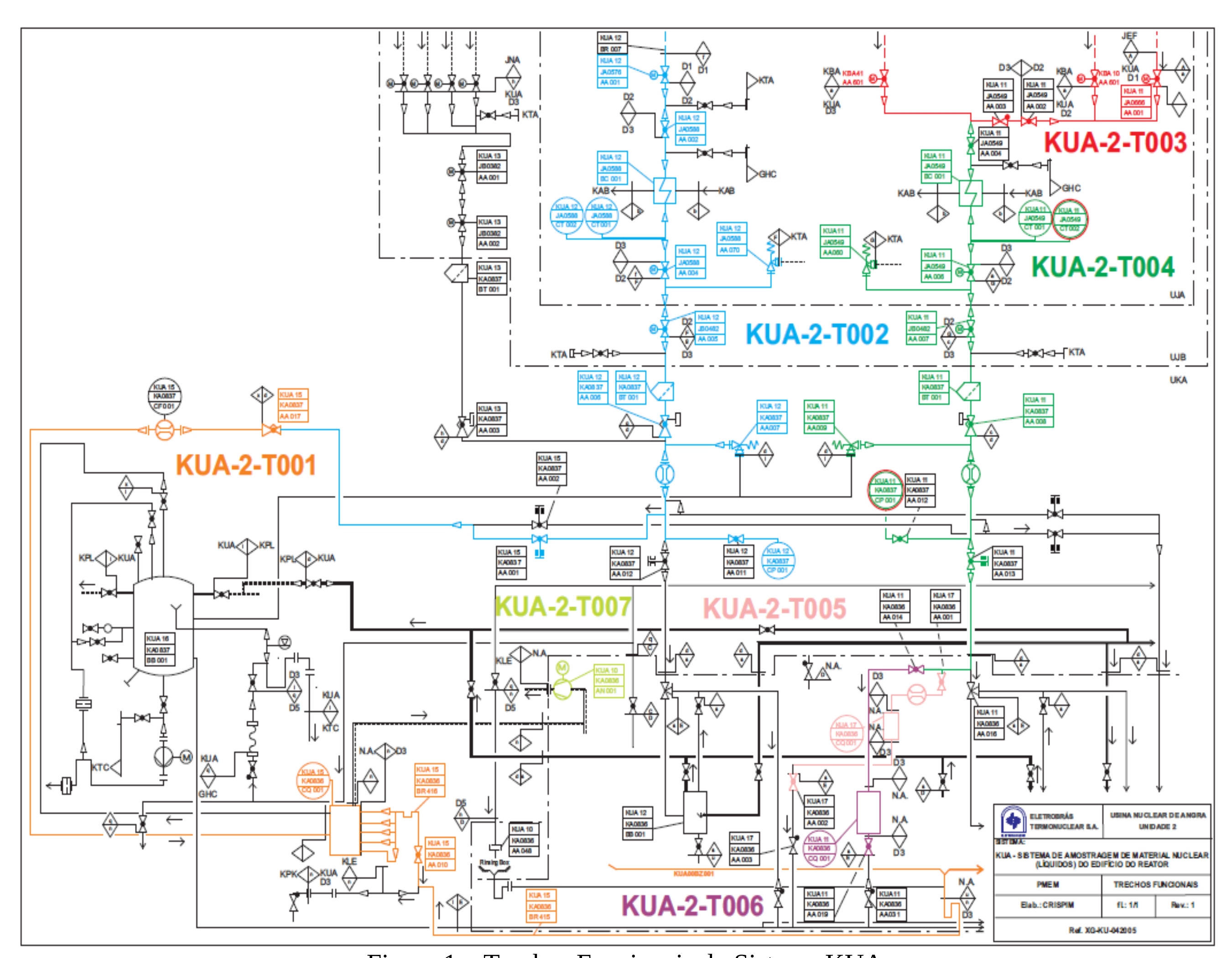


Figura 1 – Trechos Funcionais do Sistema KUA

TABELA IV - AVALIAÇÕES DE DESEMPENHO DO TRECHO KUA-2-T001 Critério de Performance FF< 3											
Ciclo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Falha Funcional	1	1	4	3	4	4	2	4	1	0	0
Requisito	**(a2)**	**(a2)**	**(a1)**	**(a1)**	**(a1)**	**(a1)**	**(a2)**	**(a1)**	**(a2)**	**(a2)**	**(a1)**

As falhas nas leituras das medições de concentração de boro ocorridas no medidor KUA15CQ001 ocasionaram várias falhas funcionais no Trecho KUA-2-T001.

3.4.1 Análise dos Dados de Vida do Medidor KUA15CQ001

O beta <1 (Figura 2) indica que o instrumento KUA15CQ001 está no período de mortalidade infantil, com taxa de falha decrescente ao longo do tempo da missão e a presença do parâmetro gama indica degradação causada pelo acúmulo de massa gelatinosa nas tubulações de dreno do instrumento, formada nas reações químicas, inerentes ao processo de titulação das amostras.
Esta massa gelatinosa contamina a amostra de liquido coletada no circuito primário e faz com que o instrumento KUA15CQ001 efetue leituras erradas dos valores de concentração de ácido bórico, causando a falha funcional do Trecho KUA-2-T001.
A baixa confiabilidade do instrumento ao longo do tempo mostrada na curva "Confiabilidade x T" (Figura 2) comprovam a ineficiência dos métodos de limpezas utilizados nos ciclos 3 a 8 para a remoção do resíduo gelatinoso das tubulações de dreno.

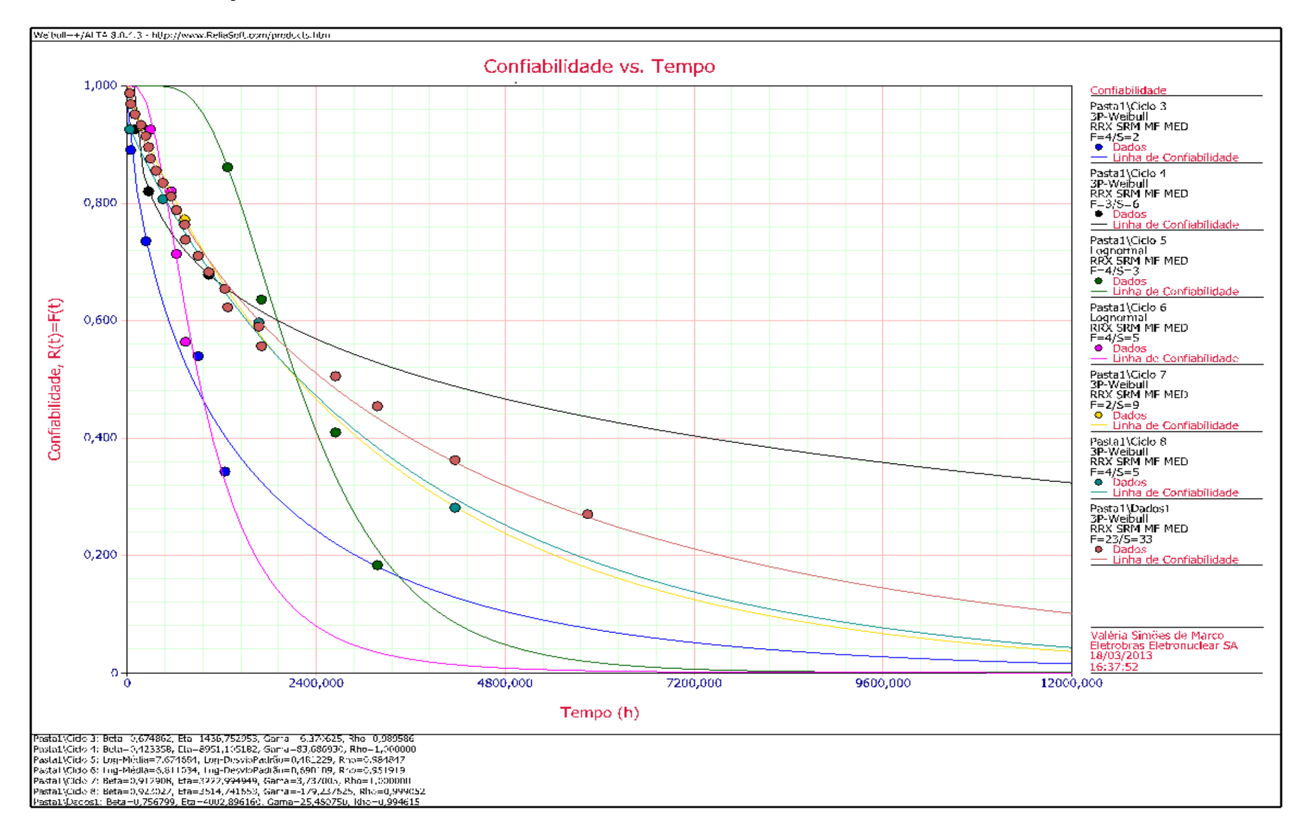


Figura 2 – Confiabilidade X Tempo

As análises dos dados de vida (Tabela V) evidenciam a necessidade de inclusão no programa de manutenção preventiva de tarefas de limpezas anuais das tubulações de drenos para a mitigação das obstruções e das consequentes leituras errôneas de concentração de boro.

TABELA V - ANÁLISE DE DADOS DE VIDA				
Ciclo	Parâmetro de forma *β*	Vida Característica ***η***	Vida inicial γ	Curva Característica
Ciclo 3	0,67	1436	-6,37	Weibull 3-P
Ciclo 4	0,42	8951	83,68	Weibull 3-P
Ciclo 5	Log média=7,67	Log desvio padrão=0,48	-	Lognormal
Ciclo 6	Log média=6,8	Log desvio padrão=0,69	-	Lognormal
Ciclo 7	0,91	3222	3,73	Weibull 3-P
Ciclo 8	0,92	3514	-179	Weibull 3-P

3.4.2 Modos de Falhas x Risco

A Tabela VI apresenta os modos de falhas no medidor KUA15CQ001 que ocasionaram Falhas Funcionais no Trecho KUA-2-T001 e o Número de Prioridade do Risco (NPR) correspondente a cada uma das causas das falhas, conforme as matrizes de avaliações dos riscos mostradas nas Tabelas VII a IX.

TABELA VI – MODOS DE FALHA X RISCO					
Falha			Causa da Falha	NPR	Risco
Falha Funcional	Modo de Falha	Efeito			
Erro de leitura no instrumento KUA15CQ001	Aumento da leitura de concentração de boro de: 20ppm para:170ppm	Agitador não gira p/ tornar a mistura homogênea	Rompimento do eixo flexível que liga o motor ao agitador	40	Alto Risco
Erro de leitura no instrumento KUA15CQ001	Funcionamento deficiente da válvula de dreno	Presença de resíduo gelatinoso na válvula de dreno	Limpeza deficiente	100	Alto Risco

TABELA VII - SEVERIDADE (Consequência da Falha do Equipamento no Trecho Funcional)		
Valor	Descrição	Critério
1	Categoria IV Menor	Função não afetada ou atraso insignificante na operação ou nenhum impacto ambiental.
2	Categoria III Marginal	Função não afetada mas requer atenção ou atraso aceitável na operação ou nenhum impacto ambiental.
3	Categoria II Crítica	Função reduzida ou dano operacional significativo ou atraso na operação ou impacto ambiental limitado.
4	Categoria I Catastrófica	Completa perda de função ou inoperabilidade ou sérios impactos ambientais.

TABELA VIII – OCORRÊNCIA (Possibilidade de Ocorrência da falha)	
Valor	Descrição
1	Nível E - Extremamente Improvável
2	Nível D - Remoto
3	Nível C - Ocasional
4	Nível B - Razoavelmente Provável

5	Nível A - Frequente

TABELA VIII - DETECÇÃO (Possibilidade da Falha do Equipamento ser Detectada)		
Valor	Descrição	Critério
1	Quase certo	Monitoração Preditiva O Controle atual quase sempre irá detectar a falha. Controles de detecção confiáveis são conhecidos e são utilizados em processos similares.
2	Alto	Teste Funcional O Controle atual têm uma boa possibilidade de detectar a falha.
3	Médio	Alarme O Controle atual têm uma possibilidade média de detectar a falha.
4	Baixo	Walkdown O Controle atual têm uma baixa possibilidade de detectar a falha.
5	Quase Impossível	Nenhum Controle conhecido está disponível para detectar a falha.

TABELA IX - NPR = NO. DE PRIORIDADE DE RISCO Severidade x Ocorrência x Detecção	
NPR $\leq$ 6	**Baixo Risco**
6 < NPR < 32	**Médio Risco**
NPR $\geq$ 32	**Alto Risco**

4 MONITOR DE RISCO

O perfil de risco da Usina de Angra 2 é definido à partir das árvores de eventos modeladas pela Análise Probabilística de Segurança e é alterado sempre que a configuração da Usina é modificada pelas ocorrências de falhas ou indisponibilidades dos equipamentos.
As Ordens de Serviço para as execuções das manutenções corretivas e/ou preventivas são liberadas somente se o monitor de risco indicar a condição verde.

A Figura 3 exemplifica o perfil de risco da Usina de Angra 2 devido as execuções das manutenções preventivas e corretivas previstas para a semana 12 de 2014.

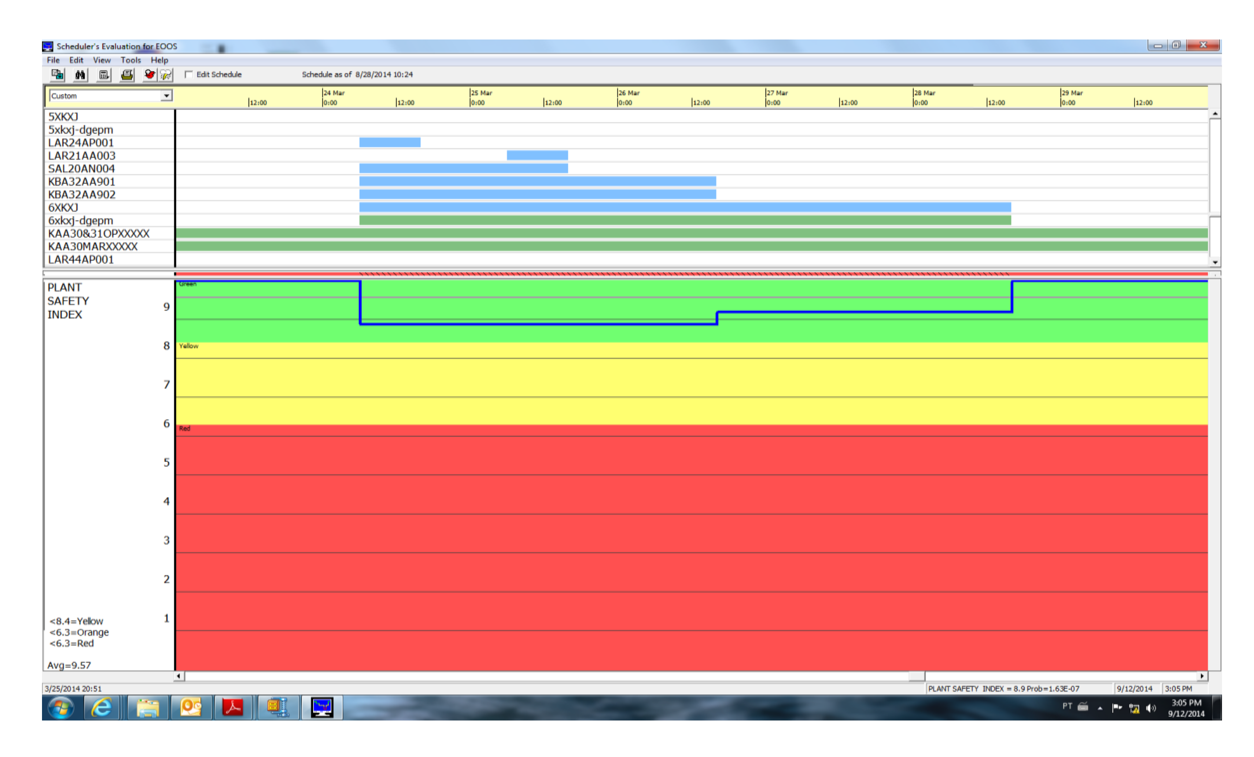


Figura 3 – Perfil de risco da Usina de Angra 2 devido as execuções das manutenções preventivas e corretivas previstas para a semana 12 de 2014 (valores definidos à partir da quantificação das sequencias de acidentes modelados pela Análise Probabilística de Segurança).

.

5 CONCLUSÃO

A Usina de Angra 2 utiliza os indicadores apresentados para proceder a otimização do programa de manutenção baseado na confiabilidade e na disponibilidade dos sistemas e componentes.
Em 2013 foram reduzidas as revisões gerais em 50 bombas e 75 válvulas dos sistemas significativos para o risco, gerando uma economia de €1.300.000,00/ciclo sem comprometer a confiabilidade e a disponibilidade da planta e ainda ocasionou a redução de geração de peças metálicas contaminadas radiologicamente, a redução de exposição radiológica do pessoal da manutenção e da proteção radiológica durante as execuções das atividades de manutenção e a redução de custos administrativos para a estocagem dos rejeitos radioativos.

6 REFERÊNCIAS

[1] Institute of Nuclear Power Operations:
- Equipment Reliability Process Description - INPO AP-913. EUA, mar/2011.
[2] Associação Brasileira de Normas Técnicas:
- ABNT NBR ISO 55000: Gestão de Ativos – Visão geral, princípios e terminologia;
- ABNT NBR ISO 55001: Gestão de Ativos – Sistema de Gestão - Requisitos;
- ABNT NBR ISO 55002: Gestão de Ativos – Sistema de Gestão - Diretrizes para aplicação da ABNT NBR ISO 55001. Brasil, mar/2014.
[3] Institute of Asset Management:
- Gestão de Ativos PAS 55 – BSI – British Standards. Grã-Bretanha, set/2008 (traduzido pela ABRAMAN)
Parte I – Especificação para a Gestão Otimizada dos Ativos Físicos (PAS55-1).
Parte II – Diretrizes para a Aplicação do PAS55-1 (PAS55-2).

7 DADOS BIOGRÁFICOS

7.1 Autora 1
- Nome: Valéria Simões de Marco;
- Local e ano de nascimento: Itajubá, 1955;
- Local e ano de graduação: Engenheira Eletricista - EFEI/Itajubá, 1976;
- Experiência profissional: atuou 28 anos na área de projetos e há 9 anos atua na área de engenharia da confiabilidade.

7.2 Autor 2
- Nome: Carlos Henrique de Oliveira;
- Local e ano de nascimento: Rio de Janeiro, 04/11/1968
- Local e ano de graduação: Engenharia Mecânica - Faculdade Souza Marques, RJ, 2002 / Mestre em Engenharia Nuclear – UFRJ COPPE 2006
- Experiência profissional: Experiência em trabalhos de comissionamento na Usina Nuclear Angra 2. Desenvolvimento /acompanhamento de trabalhos na área de Gestão de Risco.